

بررسی راندمان حذف فوتوکاتالیستی فنل موجود در تالاب شادگان به وسیله فیلترهای فوتوکاتالیستی لایه نازک نانوذرات دی اکسید تیتانیوم حساس شده با رنگدانه های طبیعی

چکیده

ترکیبات فنلی نظیر فنل به مقدار قابل توجهی در پساب های کشاورزی و صنایع، به خصوص صنایع نفت و پتروشیمی یافت می شوند. از آنجایی که این صنایع سهم بزرگی از درآمد ارزی را تشکیل می دهند باعث شده که آلودگی های بسیار زیاد حاصل از آن را نادیده گرفته و مقدار زیادی از پساب های این صنایع را بدون انجام فرآیندهای تصفیهی مناسب به رودخانه ها، تالاب ها و دریاها ریخته و محیط زیست را آلوده کرده ایم. برای مثال دفع پساب های کشاورزی حاوی آفت کش ها در تالاب شادگان، نظیر پساب توسعهی نیشکر که طیف وسیعی از ترکیبات فنلی از جمله فنل را شامل می شود باعث افزایش غلظت فنل تا حدود ۰/۰۵-۰/۰۱ میکروگرم بر لیتر شده است؛ که به دلیل تأثیر سوء در تولیدمثل جانوران موجب کاهش جمعیت گونه های جانوری در این تالاب شده است. این آلودگی ها از طریق وارد شدن در چرخه ی غذایی آبزیان وارد بدن انسان ها می شوند. این ترکیبات بسیار مقاوم بوده و از طریق فرآیندهای معمول قابل تصفیه نیستند و باعث آلودگی های شدیدی در منابع آب های سطحی و زیرزمینی شده اند از آنجایی که در کشور با کمبود این منابع روبرو هستیم حفظ این منابع از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا بررسی روش های جدید تصفیه که توانایی حذف این آلاینده ها از پساب ها را دارند اهمیت فراوانی دارد. در بین روش های جدید، حذف فوتوکاتالیستی به وسیله نیم رسانا حساس شده با رنگدانه های طبیعی به دلیل عدم تأثیرات منفی بر اکوسیستم آبی و صرفه ی اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق که در سال ۱۳۹۵ شروع شد ابتدا به حساس سازی دی اکسید تیتانیوم با رنگدانه های طبیعی پرداخته و سپس لایه نشانی آن ها بر روی زیر لایه های آلومینیومی که باعث جلوگیری از هدر رفتن آن ها می شود را شرح داده که مدلی برای فیلترهای آینده است. پس از آن مقادیر بهینه را برای چهار پارامتر که بیشترین تأثیر را بر واکنش در محیط آبی دارند محاسبه کرده که عبارتند از: غلظت بهینه ی آلاینده ۲۰ ppm، غلظت بهینه ی جاذب ۰/۲ ppm، زمان بهینه ۱۲۰ دقیقه و pH بهینه برابر با ۳ در آخر به بررسی راندمان حذف فنل به وسیله لایه نازک نانوذرات دی اکسید تیتانیوم حساس شده با رنگدانه های طبیعی در شرایط بهینه پرداخته شده است. این فیلتر توانایی حذف ترکیبات آلی دیگر نظیر هیدرازین، تترا کلرید کربن و ... را دارد.

واژگان کلیدی: دی اکسید تیتانیوم، فوتوکاتالیست، رنگدانه های طبیعی، حساس سازی رنگی.

مقدمه

فنل با نام شیمیایی هیدروکسی بنزن و فرمول شیمیایی C_6H_5OH از جمله آلاینده های بسیار سمی بوده که به وفور در پساب صنایع نفت و پتروشیمی و کشاورزی یافت می شود. دفع این پساب ها در منابع آبی استان خوزستان مانند رودخانه های کارون و دز، تالاب های نظیر تالاب شادگان و تالاب هورهورالعظیم (لحویزه) و سواحل خلیج فارس ایجاد آلودگی های شدیدی می کند (بابایی، ۱۳۹۳). همان طور که گفته شد ترکیبات

شروین سعادت^{۱*}

احسان عچرش^۲

۱. استادیار گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*مسئول مکاتبات:

Shervin.saadat@gmail.com

کد مقاله: ۱۴۰۰۱۰۶۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۶

این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان نامه

کارشناسی ارشد است.



آلی نظیر فنل به‌سادگی و با فرآیندهای تصفیه‌ی معمول قابل تصفیه نبوده و نیاز به روش‌های جدید جهت تصفیه‌ی این‌گونه ترکیبات وجود دارد (جعفریان، ۱۳۹۰).



شکل ۱: نقشه تالاب شادگان (E ۵۱۸۷، ۴۸، N ۳۰، ۶۶۴۰).

روش‌هایی نظیر جذب سطحی بر روی کربن فعال، تبادل یون، روش‌های هیدروترمال، اکسیداسیون پیشرفته، فوتوشیمیایی و الکتروشیمیایی و ترکیبی از این روش‌ها به‌عنوان روش‌های جایگزین مطرح هستند (Rodrigues et al., ۲۰۰۲; Goncharuk et al., ۲۰۱۱)؛ اما بیشتر این روش‌ها نیازمند صرف انرژی، هزینه و زمان زیادی هستند. در بین این روش‌ها، روش اکسیداسیون پیشرفته به دلیل امکان استفاده از انرژی نور خورشید هزینه و زمان کمتری نیازمند است؛ و به‌عنوان جایگزین مناسب برای روش‌های معمول بسیار موردتوجه قرار گرفته است. مکانیزم این فرآیند به این‌گونه است که هنگامی که نور با انرژی مناسب (برابر یا بزرگ‌تر از اختلاف انرژی نوارهای ظرفیت و هدایت) به سطح کاتالیست می‌تابد. الکترون‌ها برانگیخته‌شده و از تراز ظرفیت به تراز هدایت رفته و حفره‌ها را بجا می‌گذارند. الکترون‌ها با اکسیژن و حفره‌ها با آب واکنش داده و منجر به تولید رادیکال‌های فعال می‌شوند این رادیکال‌ها به‌شدت واکنش‌پذیر بوده و با کربن‌های موجود در ترکیبات آلی پیوند برقرار کرده و پیوندهای قبلی را شکسته و فرآورده‌هایی نظیر کربن دی‌اکسید، آب و اکسیژن به وجود می‌آورد؛ بنابراین با شکستن پیوندها آلاینده‌ها را تجزیه می‌کند (Azizi et al., ۲۰۱۴).

از بین مواد مختلف رسانا، نارسانا و نیم‌رسانا، نیم‌رساناها فوتوکاتالیست‌های بهتری هستند. به دلیل این‌که گاف انرژی نارساناها بسیار بزرگ بوده و تأمین منابع نوری با این انرژی بسیار پرهزینه است. در رساناها به دلیل عدم وجود گاف انرژی، زوج الکترون-حفره تولیدشده به‌سرعت باهم واکنش داده و قبل از تولید رادیکال‌های فعال انرژی را به‌صورت گرما از دست می‌دهند نمی‌توانند به‌عنوان فوتوکاتالیست به کار روند. در بین نیم‌رساناها اکسیدهای فلزی توانایی تولید زوج الکترون-حفره‌ی بیشتری دارند به همین دلیل به‌عنوان فوتوکاتالیست‌های مناسب مطرح‌شده‌اند

(Yong-sheng *et al.*, ۲۰۱۹). معمولاً دی‌اکسید تیتانیوم به‌عنوان مناسب‌ترین فوتوکاتالیست معرفی می‌شود که دارای سه فاز کریستالی به نام‌های روتایل، آناتاز و بروکایت است که فاز آناتاز بیشترین خاصیت فوتوکاتالیستی را دارد. مشکل اصلی اکسیدهای فلزی این است که گاف نسبتاً بزرگی داشته و نور مناسب برای برانگیخته کردن آن‌ها در محدوده‌ی فرابنفش است. تأمین منابع نوری در این محدوده شامل صرف انرژی و هزینه‌ی زیادی است. نور خورشید به دلیل این که تنها ۵ درصد از تابش آن در این محدوده‌ی طول‌موجی است و بازده ناچیزی خواهد داشت (Cruz-González, ۲۰۲۰; Fujishima, ۲۰۲۰). حال که نمی‌توان از نور خورشید جهت تأمین منبع نوری فرابنفش استفاده کرد باید راهی برای برانگیخته کردن نیم‌رسانا در نور مرئی که حدود ۵۰ درصد از تابش خورشید را شامل می‌شود به دست آورد. این کار به‌وسیله‌ی حساس‌سازی انجام می‌شود (Khan *et al.*, ۲۰۱۷). در این روش با آلییدن نیم‌رسانا با گاف بزرگ به رنگ یا نیم‌رسانا که گاف کوچکی دارد می‌توان برانگیختگی را در نور مرئی به دست آورد. مکانیزم آن به این صورت است که با تابش نور مرئی به رنگ یا نیم‌رسانا که گاف کوچک‌تری دارند الکترون‌ها برانگیخته‌شده و به تراز هدایت می‌روند و از آنجا به تراز هدایت نیم‌رسانا با گاف بزرگ تزریق می‌شوند. بنابراین برانگیختگی در نور مرئی انجام می‌شود و تنها شرط آن این است که تراز فرمی حساس‌کننده باید از تراز فرمی نیم‌رسانا با گاف بزرگ بیشتر باشد که در این صورت تا هم‌تراز شدن دو تراز فرمی الکترون از حساس‌کننده به کاتالیست منتقل می‌شود (Wahyuningsih *et al.*, ۲۰۱۴).

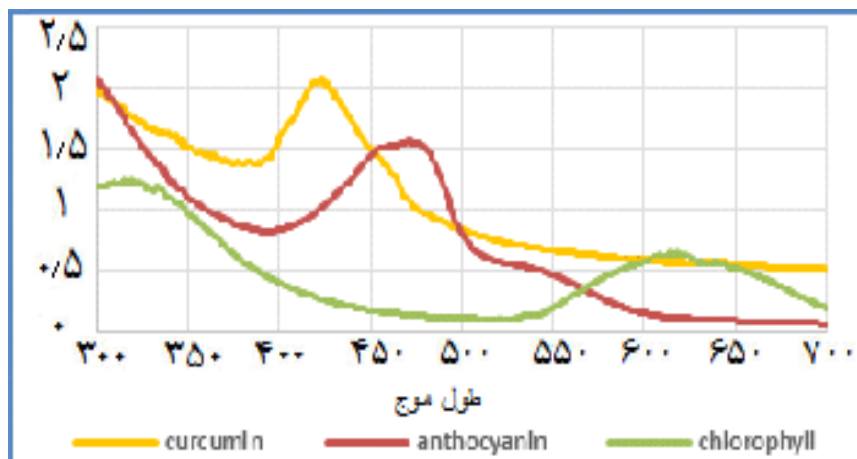
استفاده از رنگ‌دانه‌های طبیعی بر روی دی‌اکسید تیتانیوم به دلیل طبیعت دوست بودن آن‌ها در سال ۱۹۹۷ در کارهای تاناکه بر روس فیلم‌های فوتوولتاییک با رنگ‌دانه کلروفیل و گل سرخ گزارش شد. این مقوله در سال ۲۰۰۸ با اقبال محققین مواجه شد که در همان سال توسط آلن نورمن حساس‌سازی رنگی بر روی فوتو کاتالیست‌ها انجام گردید (Vishnyakov *et al.*, ۲۰۱۸).

در بین حساس‌کننده‌ها، رنگ‌دانه‌های طبیعی به دلیل ارزان و در دسترس بودن کاربرد بسیاری دارند. هدف از به‌کارگیری رنگ‌دانه‌های طبیعی علاوه بر کاربردی بودن در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی بوده است؛ زیرا استفاده از رنگ‌دانه‌های شیمیایی که حاوی فلزات سنگین (از قبیل روتنیوم) که باعث آلودگی محیط‌زیست تالاب و جانداران می‌گردد. همچنین تثبیت فوتوکاتالیست بر روی بستری ثابت از هدر رفتن آن جلوگیری کرده و امکان طراحی فوتوراکتور با جریان پیوسته را فراهم می‌کند و نیز مانع از ورود مواد مذکور به چرخه‌ی محیط‌زیست می‌گردد؛ بنابراین در این تحقیق از دی‌اکسید تیتانیوم فاز آناتاز حساس‌شده به‌وسیله‌ی رنگ‌دانه‌های طبیعی کلروفیل، آنتوسیانین و کورکومین که بر روی بستری از آلومینیوم تثبیت‌شده‌اند برای حذف فنل از پساب ساختگی استفاده‌شده است. مقادیر بهینه برای پارامترهای غلظت آلاینده، غلظت جاذب، زمان و pH محاسبه و در محیط واکنش اعمال شده تا بالاترین راندمان به دست آید (Chowdhury *et al.*, ۲۰۱۳).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با خلوص ۹۹ درصد و اندازه ۲۵-۱۰ nm که از شرکت یو اس نانو (USNANO) تهیه‌شده و رنگ‌دانه‌های طبیعی کلروفیل، آنتوسیانین و کورکومین استفاده‌شده، همچنین از اتانول ۹۶ درصد، اسیدکلریدریک (HCl) و باز هیدروکسید سدیم (NaOH) برای تنظیم pH و تیغه‌های آلومینیوم به‌عنوان زیر لایه و اسیدکلریدریک (HCl) ۳۷ درصد جهت اسپینگ شیمیایی و فنل به‌عنوان آلاینده استفاده‌شده است (Houasa *et al.*, ۲۰۰۱; Zyoud and Hilal, ۲۰۱۴; Zyoud *et al.*, ۲۰۱۱).

این رنگ‌دانه‌ها از بافت‌های گیاهی اسفناج، چغندر قند و زردچوبه به‌وسیله‌ی محلول آب و اتانول (که نسبت اتانول دو برابر آب است) در دمای ۴۵°C و به مدت ۲ ساعت استخراج و پس از چند ساعت نگهداری در تاریکی و گذراندن از صافی آن‌ها را درون آون در دمای ۳۵°C خشک کرده و با آسیاب کردن آن‌ها را به شکل پودر درآورده که باعث پایداری آن‌ها نسبت به زمان و عوامل دیگر می‌شود. پس از به دست آمدن رنگ‌دانه‌ها برای مشخص شدن طول حساس آن‌ها، طیف جذبی اندازه‌گیری شد (شکل ۲).



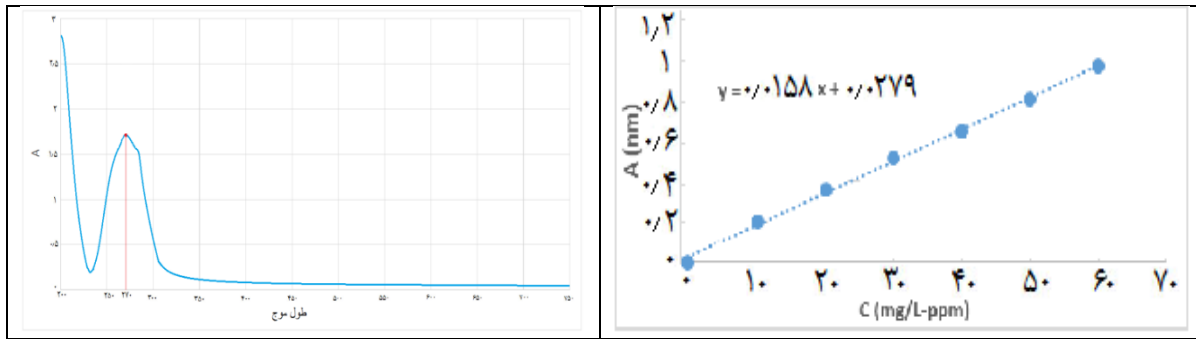
شکل ۲: طیف جذبی رنگ‌دانه‌های استخراج‌شده.

در این مرحله رنگ‌دانه‌ها و دی‌اکسید تیتانیوم را به دو روش ترکیب محلول و آسیاب سیاره‌ای استفاده شد. نهایتاً ۴ گرم از هر رنگ‌دانه را با ۲ گرم دی‌اکسید تیتانیوم در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و دمای ۵۰°C ترکیب کرده و در روش آسیاب سیاره‌ای همین نسبت از رنگ‌دانه‌ها و دی‌اکسید تیتانیوم را به‌صورت پودر درون آسیاب سیاره‌ای (Fritsch-PU6) گذاشته تا باهم ترکیب شوند آنگاه پودر حاصل را در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و دمای ۵۰°C حل کرده تا محلول‌های مشابهی تهیه گردید.

واکنش فوتوکاتالیستی در سطح کاتالیست انجام می‌شود بنابراین برای افزایش چسبندگی و سطح مؤثر، زیر لایه‌ها به دو روش شیمیایی و پلاسمایی به ترتیب‌های مختلف اچینگ می‌شوند. در اچینگ شیمیایی زیر لایه‌ها را درون اسیدکلریدریک ۳۷ درصد غوطه‌ور کرده و در اچینگ پلاسمایی سطح زیر لایه‌های آلومینیومی به‌وسیله‌ی تابش‌های پلاسمایی گاز نیتروژن در خلاء ۰/۰۹ میلی بار خراش داده می‌شود. همان‌طور که گفته شد زیر لایه‌ها را به ترتیب‌های مختلف اچینگ شیمیایی و پلاسمایی کرده و توپوگرافی سطح آن‌ها را به‌صورت کیفی با آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی و مقایسه می‌شود سپس همه تیغه‌ها با نوع اچینگ که بیشترین سطح مؤثر را در بررسی آنالیز AFM داشته آماده می‌شوند.

اگر فوتوکاتالیست به‌صورت پودر و یا محلول به کار رود در پایان واکنش فوتوکاتالیستی باید از پساب جدا و تصفیه شود تا تأثیر مخربی بر محیط‌زیست نداشته باشد که این خود باعث صرف هزینه و زمان می‌شود و اگر جداسازی صورت نگیرد فوتوکاتالیست هدر می‌رود که از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست؛ بنابراین باید فوتوکاتالیست‌ها را بر روی بستری ثابت لایه نشانی کرد تا فرآیند تصفیه به‌صورت جریان پیوسته‌ای صورت گیرد. پس زیر لایه‌های اچینگ شده را درون محلول‌هایی از فوتوکاتالیست‌های حساس شده با رنگ‌دانه‌های طبیعی که به دو روش سل-ژل و آسیاب سیاره‌ای ساخته شده‌اند فرو کرده تا به روش رسوب‌دهی الکتریکی و با اعمال اختلاف پتانسیل ۳۰۷ ولت لایه نشانی شوند. مدلی برای فیلترهای فوتوکاتالیستی حساس به نور مرئی برای استفاده صنعتی در آینده است.

برای افزایش راندمان حذف باید پارامترهایی که بر میزان واکنش فوتوکاتالیستی مؤثراند را بررسی کرده و آن‌ها را در مقادیری که بیشترین راندمان حذف را داشته که به آن‌ها مقادیر بهینه گفته می‌شود. به دلیل این‌که واکنش در محیط آبی انجام می‌شود پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر روی واکنش فوتوکاتالیستی در محیط آبی دارند از قبیل غلظت آلاینده، غلظت جاذب، زمان و pH مورد مطالعه قرار گرفت. با مشخص شدن این مقادیر، آن‌ها در محیط واکنش اعمال می‌شوند. کلیه‌ی واکنش‌ها (آلاینده در مجاورت جاذب) به دلیل افزایش میزان واکنش به روش آواشیمیایی (Sono-chemistry) انجام شده است (Malekshoar et al., ۲۰۱۴).

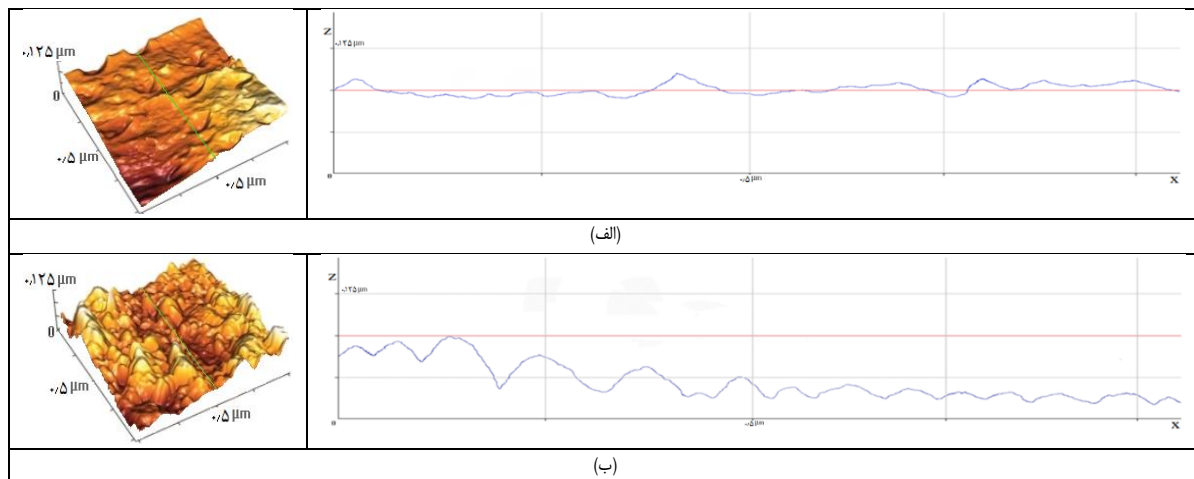


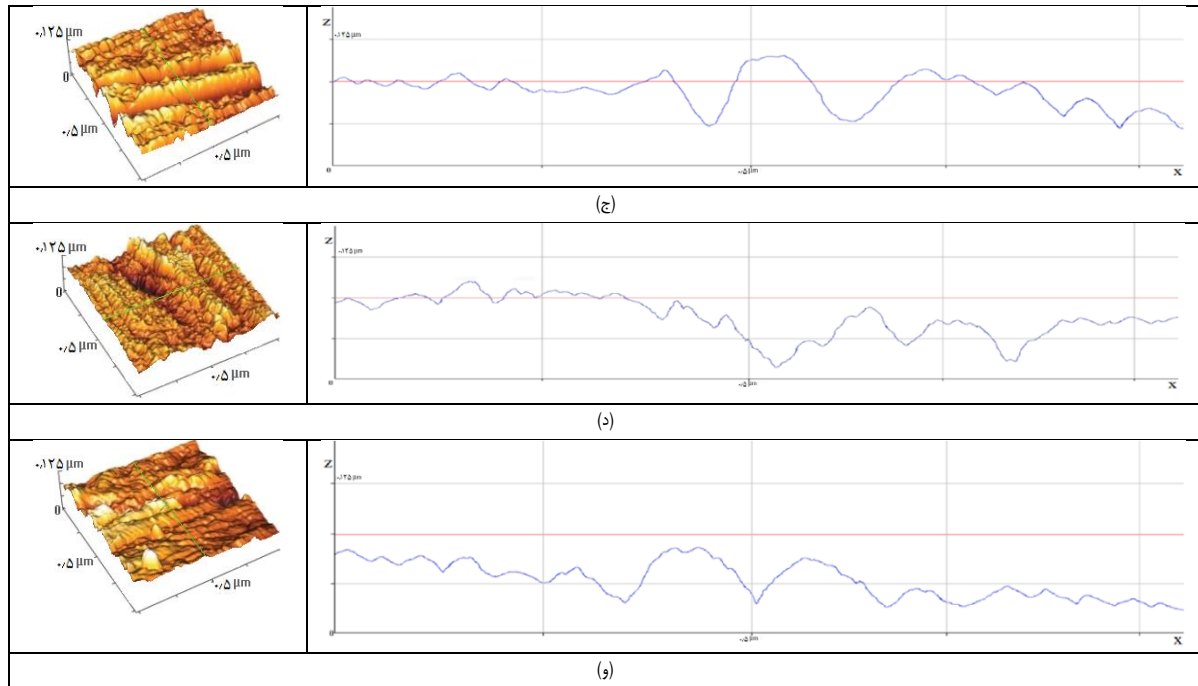
شکل ۳: منحنی کالیبراسیون فنل و طیف جذبی فنل.

واکنش فوتوکاتالیستی در محیط یک فوتوراکتور ایزوله، مجهز به دستگاه اولتراسونیک و لامپ متال هالید ۵۰۰W و در دمای 25°C انجام شد. پارامترهای بهینه در محیط واکنش اعمال شد و در بازه‌های زمانی متفاوت از محلول نمونه‌گیری کرده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری UV-Vis (*PerkinElmer-Lam35*) در طول موج جذب فنل 270 nm و معادله‌ی کالیبراسیون فنل، غلظت فنل در این بازه‌ها اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

نتایج

برای افزایش سطح مؤثر و چسبندگی زیر لایه‌ها از دو روش متفاوت استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز AFM در شکل (۴) زیر نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود روش شیمیایی که باعث خوردگی سطح به‌طور یکنواخت لایه‌برداری می‌کند (شکل ۴ الف) و اما روش پلاسمایی که با برخورد ذرات پرسرعت پلاسما به سطح باعث ایجاد خلل و فرج می‌گردد برخلاف روش شیمیایی عدم تقارنی در آن مشهود است (شکل ۴ ب - د) که برای هدف این تحقیق مناسب‌تر است.

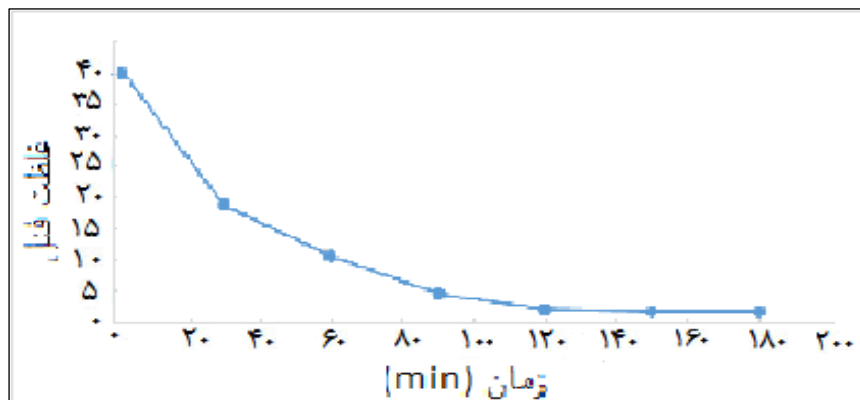




شکل ۴: آنالیز AFM برای الف: زیر لایه ساده ب: زیر لایه شیمی کاری شده ج: زیر لایه پلاسماکاری شده د: زیر لایه شیمی و سپس پلاسماکاری شده و: زیر لایه پلاسما و سپس شیمی کاری شده (سال ۱۳۹۵).

محاسبه سطوح زیر لایه‌ها از آنالیز AFM نشان می‌دهد که زیر لایه‌ای که ابتدا به روش شیمیایی و بعد از آن به روش پلاسمایی اچینگ شده، بیشترین سطح مؤثر را داشته، بنابراین تمام زیر لایه‌ها به این روش اچینگ می‌شوند. پس از آماده‌سازی زیر لایه‌ها، آن‌ها به روش غوطه‌وری الکتریکی در محلول‌های فوتوکاتالیست لایه نشانی می‌گردند.

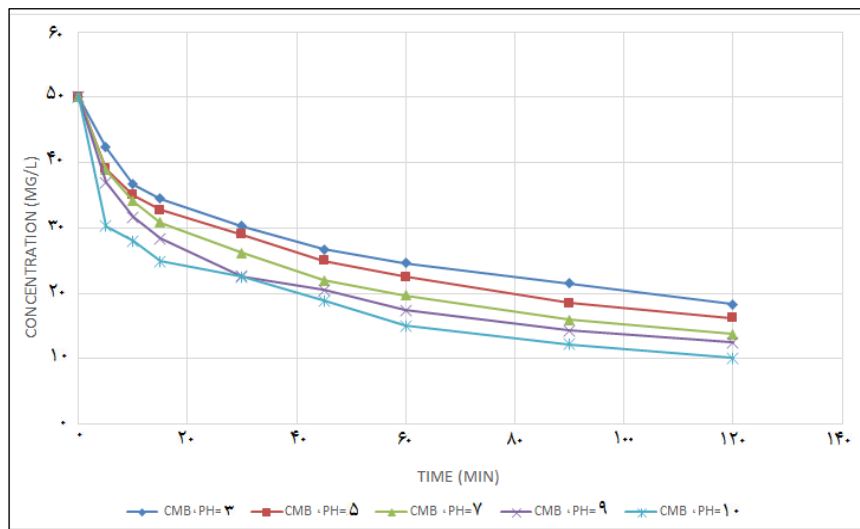
برای به دست آوردن زمان بهینه یعنی مدت‌زمانی که باید برای واکنش تجزیه‌ی فوتوکاتالیستی فنل صرف کرد و پس از طی آن واکنش کامل شده و پیشرفت چندانی نمی‌کند، محلولی از فنل با غلظت ۴۰ppm تهیه کرده، مجاورت جاذب قرار داده سپس در بازه‌های زمانی مختلف نمونه‌گیری کرده و غلظت فنل محاسبه می‌گردد. داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده در شکل ۵ آمده‌اند.



شکل ۵: تغییرات غلظت فنل برحسب زمان (سال ۱۳۹۵).

نمودار بالا نشان می‌دهد در زمان ۱۲۰ دقیقه فرآیند کامل شده و پس از حذف قابل توجهی اتفاق نمی‌افتد. بنابراین زمان بهینه ۱۲۰ دقیقه است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در پیشرفت واکنش‌های شیمیایی بخصوص در محیط‌های آبی pH است. برای به دست آوردن pH ای که در آن بیشترین راندمان حذف فوتوکاتالیستی وجود داشته باشد باید محلول‌هایی با غلظت ۴۰ ppm از فنل تهیه کرده و با اسید HCl و باز NaOH ۰/۱ مولار، pH آن‌ها تنظیم شود (Zyoud *et al.*, ۲۰۱۱). در این تحقیق pH های ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. محلول‌های فنل در محیط‌های متفاوت در مجاورت جاذب قرار داده شد. مطابق قبل در زمانه‌ای مختلف از آن‌ها نمونه‌گیری کرده و غلظت فنل محاسبه می‌شود. نتایج داده‌های آزمایشگاهی در نمودار (۶) آمده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در (pH ۳) بیشترین درصد جذب وجود دارد.



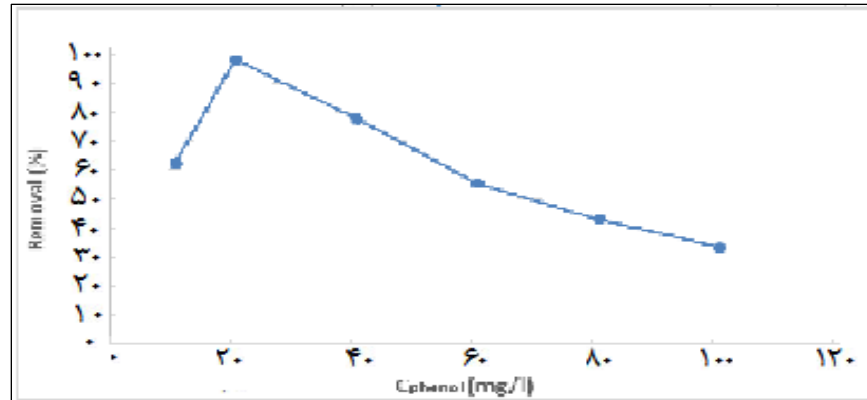
شکل ۶: تغییرات غلظت فنل بر حسب زمان (سال ۱۳۹۵).

با توجه به نمودار بالا pH بهینه که در آن بیشترین حذف مشاهده گردید، ۳ است. در این مرحله اثر غلظت آلاینده‌ی فنل موجود در پساب بر میزان واکنش حذف و راندمان فیلتر فوتوکاتالیستی حساس شده با رنگ‌دانه‌های طبیعی بررسی می‌شود. برای این کار محلول‌هایی با غلظت‌هایی متفاوت از فنل تهیه کرده و pH آن‌ها روی ۳ تنظیم می‌شود و ۱۲۰ دقیقه در مجاورت جاذب قرار داده می‌شوند. آنگاه مانند قبل غلظت آن‌ها را به دست آورده و با استفاده از رابطه ۱ و داده‌های آزمایشگاهی راندمان حذف پ به دست می‌آید.

$$\%R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

رابطه ۱:

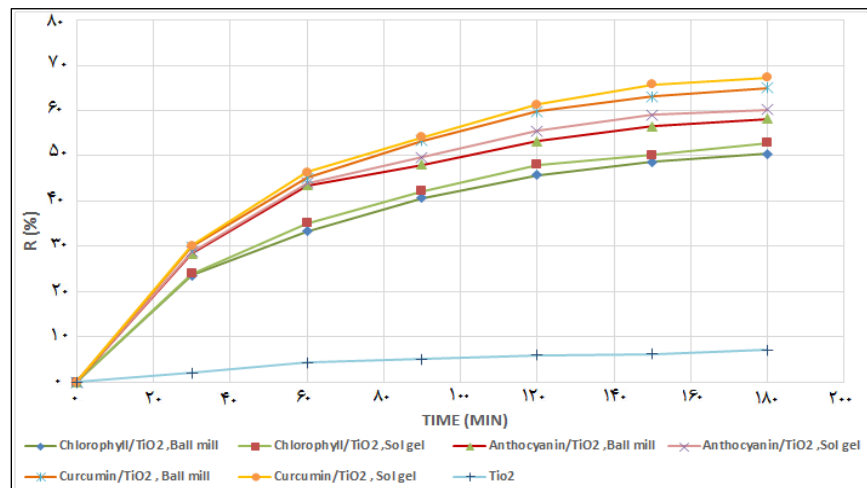
نتایج آزمایشگاهی در نمودار شکل ۷ آمده‌اند.



شکل ۷: راندمان حذف فنل بر اساس غلظت آلاینده (سال ۱۳۹۵).

با توجه به نمودار بالا در غلظت ۲۰ppm از آلاینده‌ی فنل بیشترین راندمان و واکنش را داراست. پس این غلظت، غلظت بهینه‌ی آلاینده‌ی فنل است.

در نهایت محلول‌هایی از فنل به‌عنوان پساب تهیه کرده و شرایط بهینه بر آن‌ها اعمال می‌گردد. غلظت فنل ۲۰ppm و $\text{pH}=3$ بوده تا بالاترین راندمان را به دست آید. در هر محلول یکی از فیلترهای لایه نشانی شده را قرار داده و درون فوتوراکتور گذاشته پس از چند دقیقه که جذب و واجذب به تعادل رسیدند لامپ را روشن کرده تا فرآیند شروع شود. در بازه‌های زمانی مختلف از محلول نمونه‌گیری کرده غلظت فنل را به دست آورده و راندمان حذف را محاسبه کرده که نتایج آن در نمودار (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸: درصد حذف فنل نسبت به زمان برای فیلترهای متفاوت (سال ۱۳۹۵).

منحنی آبی‌رنگ در نمودار بالا داده‌های به‌دست‌آمده از فیلتر لایه نشانی شده با دی‌اکسید تیتانیوم خالص را نشان می‌دهد و در مقایسه با فیلترهای حساس شده بارنگ راندمان پایینی دارد که نشان‌دهنده‌ی تأثیر زیاد حساس سازی رنگی در راندمان حذف فنل است و فیلترهای حساس شده به روش سل-ژل کمی بهتر از نمونه‌های آسیاب سیاره‌ای عمل کرده‌اند و دلیل آن حرارت تولیدشده در آسیاب سیاره‌ای می‌باشد؛ و بالاترین

راندمان حذف را فیلتر حساس شده با کورکومین به روش سل-ژل با حذف ۶۱/۲۶ درصد از فنل درون پساب ساختگی، در مدت ۱۲۰ دقیقه داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای غلظت بهینه‌ی آلاینده، غلظت بهینه‌ی جاذب، زمان بهینه و pH بهینه بررسی شد؛ و از این داده‌ها برای دست‌کاری و تغییر محیط واکنش برای افزایش راندمان حذف فنل موجود در پساب قبل از ورود آن به تالاب شادگان و سایر منابع آبی نظیر رودخانه‌ها و تالاب‌ها استفاده می‌شود. بیشترین راندمان حذف فنل را فیلتر فوتوکاتالیستی حساس شده به‌وسیله کورکومین به روش سل-ژل تحت شرایط بهینه داشته است. از این فیلترها می‌توان در طراحی سیستم‌های تصفیه‌ی ترکیبات آلی استفاده کرد به‌این‌ترتیب که ابتدا پساب موردنظر را در حوضچه‌هایی جمع‌آوری کرده و با تبخیر سطحی غلظت آلاینده‌هایی نظیر فنل را افزایش داده آنگاه با قرار دادن این فیلترها در پساب زیر نور خورشید فرآیند تجزیه‌ی فوتوکاتالیستی آغاز می‌شود. این فیلترها توانایی حذف ترکیبات آلی دیگر مانند هیدرازین، تتراکلریدکربن، کلروفلوئورکربن و ... و همچنین رنگ‌های آلی مانند متیلن بلو، متیلن اورنژ، تارتارازین و ... حتی کلر بازممانده از فرآیند تصفیه‌ی بیولوژیکی را دارد و راندمان بالایی در از بین بردن این آلاینده‌های آلی از خود نشان می‌دهد. با توجه به تثبیت مواد مورد استفاده علی‌رغم سازگاری رنگ‌دانه‌ها با محیط‌زیست این مواد وارد چرخه‌ی محیط‌زیست نمی‌شوند و قادر به حذف آلاینده‌ی مورد آزمایش (فنل) به میزان ۷۰ درصد می‌باشد؛ که در مقایسه با فیلترهای فوتوکاتالیستی تیتانیوم دی‌اکسید یا نیم‌رساناهای دیگر که در نور فرابنفش قادر به تجزیه‌ی آلاینده‌ها با راندمانی کمتر از ۵۰ درصد هستند راندمان و صرفه‌ی اقتصادی بالاتری دارد و در مقایسه با فیلترهای نیم‌رسانا حساس شده با ترکیبات روتنیوم و فلزات سنگین که در نور مرئی فعال می‌شوند و خود برای محیط‌زیست خطرناک‌اند و راندمانی در حدود ۷۰-۶۵ درصد دارند، راندمانی برابر با آن‌ها و قیمت تمام‌شده‌ی کمتری دارد.

سیاسگزاری

این تحقیق حاصل پروژه کارشناسی ارشد گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز در سال ۱۳۹۶ بوده و نویسندگان بدین‌وسیله تشکر و سپاس بی‌پایان خود را از کلیه پرسنل آزمایشگاه فیزیک تحقیقاتی ابراز می‌دارند.

منابع

- بابایی، ع. ا.، ۱۳۹۳. مطالعه الگوی رسوبات رودخانه کارون با ترکیبات الکلی و فنلی. فصلنامه سلامت و محیط. دوره ۷. شماره ۴. ۵۶۸ ص.
- جعفریان مقدم، ا.، ۱۳۹۰. بررسی اثرات محیط زیستی صنایع پتروشیمی منطقه‌ی ویژه اقتصادی ماهشهر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. مجله علوم محیطی، جلد ۸. صفحات ۱۵۶-۱۴۵.
- Azizi, S. and Shokoohi, R. and Fredmal, J., ۲۰۱۴. Biosorption of Pentachlorophenol from Aqueous Solutions Using Phanerochaete Chrysosporium Biomass, Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, ۲۴ (۱۱۳): ۱۰۴-۱۱۷.
- Chowdhury, P., Gomaa, H. and Ray, A., ۲۰۱۳. Dye-Sensitized Photocatalyst: A Break through in Green Energy and Environmental Detoxification, Department of Chemical and Biochemical Engineering. University of Western Ontario, ۱۱۲۴: ۲۳۱-۲۳۶.
- Cruz-González, N., ۲۰۲۰. Study of the Effect of TiO₂ Layer on the Adsorption and Photocatalytic Activity of TiO₂-MoS Heterostructures under Visible-Infrared Light, Nanomat. for Photocat. & App. in the Env. Doi. ۱۰.۱۱۵۵/۲۰۲۰/۸۷۴۰۸۲۵.

Fujishima, A., ۲۰۲۰. Titanium Dioxide Photocatalysis: Present Situation and Future Approaches, *Comptes Rendus Chimie*, ۹(۵): ۷۵۰.

Goncharuk, V. V., Kucheruk, D. D., Kochkodan, V. M. and Badekha, V. P., ۲۰۰۲. Removal of organic substances from aqueous solutions by reagent enhanced reverse osmosis. *Desalination*, ۱۴۳. ۱.

Houasa, A., Lachheba, H., Ksibia, M., Elalouia, E., Guillard, C. and Herrmannb, J. M., ۲۰۰۱. Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water. *Ingénieurs de Gabès (ENIG), Gabès, Tunisia*, ۱۴۵–۱۵۷.

Khan, M. M., ۲۰۱۷. *Nano Composites for Visible Light- Induced Photocatalysis*, Springer, Ch ۲.

Malekshoar, G. , Pal, K., Yu, A. and Ray, A. K., ۲۰۱۴. Enhanced Solar Photocatalytic Degradation of Phenol with Coupled Graphene-Based Titanium Dioxide and Zinc Oxide. Department of Chemical and Biochemical Engineering, University of Western Ontario, ۱۸۸۲۴-۱۸۸۳۲.

Rodrigues L., Da Silva, M., Mandes, M. and Coutinho, A., ۲۰۱۱. Phenol removal from aqueous solution by activated carbon produced from avocado kernel seeds, *Chem. Eng. Journal* ۱۷۴ (۱): ۴۹-۵۷.

Vishnyakov, V., Kelly, P. J., Humblot, J., Kriek, R. J. and Allen, N. S., ۲۰۱۸. Use of ion-assisted sputtering technique for producing photocatalytic titanium dioxide thin films: Influence of thermal treatments on structural and activity properties based on the decomposition of stearic acid, *Poly. Deg. & Stab.* ۱۵۷ ۱.

Wahyuningsih, S., Purnawan, C., Saraswati, T. E. , Pramono, E., Ramelan, A. H., Pramono, S. and Wisnugroho, A., ۲۰۱۴. Visible Light Photoelectrocatalytic Degradation of Rhodamine B Using Ti/TiO₂-NiO Photoanode. Inorganic Material Research Group, Department of Chemistry Sebelas Maret University, doi: ۲۰۱۴,۵۱۷۱۵۴.

Yong-sheng, F, Jun, L. and Jianguo, L., ۲۰۱۹. Metal/Semiconductor Nanocomposites for Photocatalysis: Fundamentals, Structures, Applications and Properties, *Nanomaterials*, ۹ (۳): ۳۵۹.

Zyoud, A. and Hilal, H., ۲۰۱۴. Investigation of curcumin as sensitizer for anatase TiO₂ nanoparticles in photodegradation of phenazopyridine with visible light. Department of Chemistry, An-Najah National University, Nablus, ۱۰. ۱۶۳,۸,۳,۱۲۷.

Zyoud, A., Zaatat, N., Saadeddin, I., Helal, H. M. Campet, G. And Hakim, M., ۲۰۱۱. Alternative natural dyes in water purification: Anthocyanin as TiO₂-sensitizer in methyl orange photo-degradation. Department of Chemistry University Nablus, West Bank, Palestine. doi: ۱۰,۱۰۱۶/j.